

Väestön cesiummäärät ja sisäisen
säteilyn aiheuttamat annokset
– Päijät-Hämeen seurantaryhmä
Ympäristön säteilyvalvonnan toimintaohjelma

Tiina Torvela, Maarit Muikku

Säteilyturvakeskus

Ympäristön säteilyvalvonta
Tiina Torvela, Maarit Muikku

Säteilyturvakeskus
PL 14
00811 Helsinki
www.stuk.fi

Lisätietoja
Tiina Torvela
tiina.torvela@stuk.fi
puhelin 09 759 88 474
ISBN 978-952-309-519-9 (pdf)

Säteilyturvakeskus

Ympäristön säteilyvalvonta
Tiina Torvela, Maarit Muikku

Sisällys

1	Tiivistelmä	4
2	Ympäristön säteilyvalvonta Suomessa	4
3	Väestömittaukset Suomessa.....	5
4	Menetelmä	6
4.1	Suora gammaspektrometrinen ihmismittaus	6
4.2	Sisäisen altistuksen aiheuttaman annoksen arvioiminen.....	7
5	Tulokset.....	8
6	Johtopäätökset	10
7	Viitteet	11

1

Tiivistelmä

Vuonna 1986 tapahtuneen Tšernobylin ydinvoimalaonnettomuuden seurauksena tullut radioaktiivisten aineiden laskeuma jakautui Suomessa epätasaisesti. Päijät-Häme kuuluu suurelta osin alueeseen, jonne laskeumaa tuli Suomessa eniten. Luonnosta saatavien ruoka-aineiden, kuten järvikalan, riistan, marjojen ja sienten, sisältämä radioaktiivinen cesium (isotooppi ^{137}Cs) on peräisin pääasiassa tästä laskeumasta. Ihmisistä mitattu ^{137}Cs :n määrä kuitenkin vähenee jatkuvasti radioaktiivisen puoliintumisen, maa-ainesten sekoittumisen ja kerrostumisen sekä ruokavaliotottumusten muutosten seurauksena.

Elokuussa 2019 Padasjoella mitattiin yhteensä 37 henkilön kehon sisäisen radioaktiivisuuden määrä. Ryhmä koostui vuonna 1987 koostetun Päijät-Hämeen seurantaryhmän henkilöistä, joiden ruokavalio sisältää runsaasti asuinympäristönsä luonnosta kerättyjä tai pyydettyjä ruoka-aineita. Mittaukset tehtiin STUKin liikkuvan laboratorion gammaspektrometrillä laitteistolla.

Mittauksista määritettiin kehon sisältämän cesiumin aktiivisuus bequereleinä painokiloa kohti (Bq/kg). Mittausryhmän henkilöiden kehon ^{137}Cs -aktiivisuus vaihteli välillä 1–126 Bq/kg. Erot henkilöiden ruokavalioon sisältyvien luonnontuotteiden määrissä selittivät parhaiten tulosten suuren vaihteluvälin. Lisäksi laskettiin kehon aktiivisuusmääriä vastaava referenssihenkilön sisäisen säteilyn efektiivinen annos millisieverteinä vuodessa (mSv/a). Mittausryhmän keskiarvo oli 0,04 mSv/a ja maksimi 0,3 mSv/a. Koko Suomen aikuisväestölle kehossa olevasta ^{137}Cs :ta aiheutui vuonna 2018 keskimäärin 0,01 mSv säteilyannos (Siiskonen 2020).

Päijät-Hämeen seurantaryhmässä mitattujen ^{137}Cs -aktiivisuuksien perusteella lasketut vuotuiset säteilyannosarviot olivat siten moninkertaiset verrattuna koko väestön vertailuarvoon. Sekin on kuitenkin vain prosentti sisäilmassa olevan radonin aiheuttamasta annoksesta, jonka arvioitiin vuonna 2018 olleen noin 4 millisievertiä vuodessa. Suomalaisten säteilyannosta vähennetäänkin tehokkaimmin pienentämällä huoneilman radonpitoisuutta.

2

Ympäristön säteilyvalvonta Suomessa

Valtakunnallisesta ympäristön säteilyvalvonnasta Suomessa vastaa Säteilyturvakeskus (STUK). Ympäristön säteilyvalvonta muodostuu vuosittain toteutettavasta jatkuvasta ohjelmasta, kerran strategiakaudella (5–10 vuotta) toteutettavista osaohjelmista sekä ydinvoimalaitosten ja kaivosten ympäristön säteilyvalvonnasta.

Muun muassa ulkoista säteilyannosta, ulkoilman radioaktiivisuutta ja elintarvikkeita valvotaan jatkuvasti. Tämä antaa yleiskuvan säteilytilanteesta Suomessa. Mittaukselliset tulokset julkaistaan STUKin internetsivuilla osoitteessa www.stuk.fi.

Jatkuvan valvonnan tuloksia täydennetään tarpeen mukaan osaohjelmien ja kertaluonteisten selvitysten avulla. Niissä tuotetaan yksityiskohtaisempaa tietoa suomalaisten kannalta tärkeimmistä säteilyaltistuksen lähteistä.

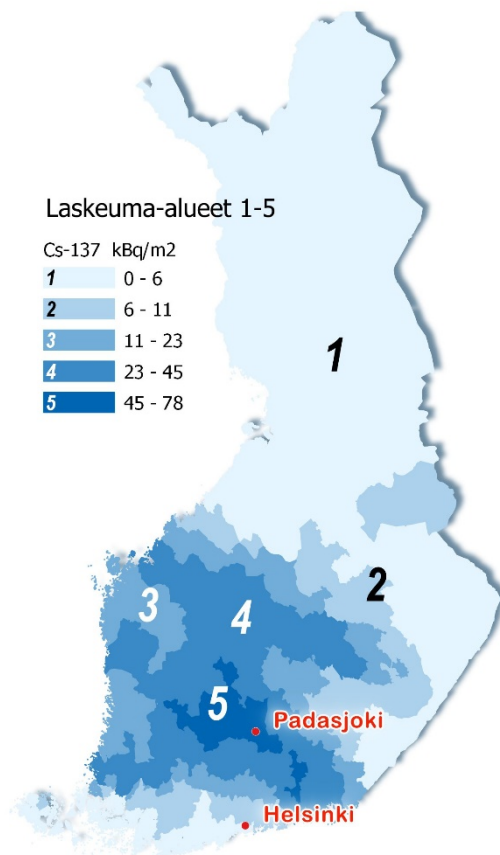
3

Väestömittaukset Suomessa

Säteilyturvakeskus on seurannut suorien gammaspektrometrysten ihmismittauksien eli ns. kokokehomittauksien avulla suomalaisen väestön saamia sisäisen säteilyn annoksia 1960-luvulta lähtien. Mittausten avulla on voitu seurata sekä ydinasekokeista että Tšernobylin ydinvoimalaonnettomuudesta peräisin olevien radioaktiivisten aineiden hidasta poistumista ihmiskehosta.

Pitkällä aikavälillä säteilyannosten kannalta tärkein aine on cesiumin pitkäikäinen radioaktiivinen isotooppi ^{137}Cs . Ihmisellä sen merkittävin lähde on ravinto; kun ^{137}Cs -määrä ravinnossa vähenee, vähenee myös sen määrä ihmisen kehossa. Ilmakehässä suoritettujen ydinasekokeiden laskeumasta peräisin olleet ihmisten ^{137}Cs -aktiivisuudet olivat suurimmillaan 1960-luvun puolivälissä, mutta vielä ennen vuonna 1986 tapahtunutta Tšernobylin ydinvoimalaitosonnettomuutta ihmisistä voitiin mitata vähäisiä määriä ^{137}Cs :a. Tämän jälkeen mitatut määrät ovatkin pääasiassa peräisin Tšernobylin laskeumasta.

Tšernobylin ydinvoimalaitosonnettomuuden seurauksena vuonna 1986 tullut laskeuma jakaantui erittäin epätasaisesti. Laskeuma-alueet jaettiin viiteen ryhmään ulkoisen annosnopeuden perusteella (Kuva 1).



Kuva 1. Tšernobylin ydinvoimalaitosonnettomuuden laskeuman ^{137}Cs -aktiivisuus (kBq/m^2) vuoden 1986 tasolla (mukailtu Arvela ym. 1990). Laskeuma-alueet jaettiin aktiivisuuden määrän perusteella viiteen alueeseen. Padasjoki sijaitsee laskeuma-alueella 5. Laskeumadata: Säteilyturvakeskus. Taustakartta: Maanmittauslaitos, Avoin karttakuvapalvelu 03/2021.

Loppuvuodesta 1986 valittiin satunnaisotannalla suoriin ihmismittauksiin noin 5000 henkilöä eri puolilta Suomea. Heistä 380 saapui mittaukseen. Mitattavat jaettiin viiteen laskeuma-alueita vastaavaan ryhmään (Rahola ym. 1987). Pääkaupunkiseutu jätettiin ensimmäisestä otannasta pois, koska se kuului vähiten laskeumaa saaneeseen alueeseen, joka oli muutenkin hyvin edustettuna otannassa. Vuonna 1988 vastaavanlainen otanta tehtiin Helsingin alueella asuvista henkilöistä. Tällöin mittaukseen saapui 180 henkilöä. Satunnaisotannalla määritettyä ryhmää mitattiin vuosina 1986–1996. Lisäksi mitattiin erityisryhmiä, jotka saivat ruokavaliostaan cesiumia keskimääräistä enemmän. Tällaisia ryhmiä muodostettiin esimerkiksi paljon luonnontuotteita syövästä henkilöistä Päijät-Hämeessä (laskeuma-alue 5) ja Keski-Suomessa (laskeuma-alue 3) sekä Hallan paliskunnan poronhoitajista (Ämmänsaari). Myös 1960-luvulta alkanutta Pohjois-Lapin poronhoitajista koostuvan tutkimusryhmän jäsenten mittaamista jatkettiin (Rahola ym. 1993, Leppänen ym. 2011).

Nykyään mitataan Pohjois-Lapin poronhoitajista ja paljon luonnontuotteita Päijät-Hämeessä syövästä henkilöistä muodostettuja tutkimusryhmiä sekä vertailuryhmää. Muutaman vuoden välein toteutettavilla väestöryhmien mittauksilla seurataan cesiumin poistumista suomalaisten kehosta sekä arvioidaan cesiumista aiheutuneet säteilyannokset. Projektiin osallistuminen on vapaaehtoista ja tutkimushenkilöt voivat milloin tahansa vetäytyä tutkimuksesta ilman, että tarvitsee ilmoittaa mitään syytä vetäytymiselle. Tutkimuksessa kerättäviä luottamuksellisia tutkimustietoja ei luovuteta muille henkilöille kuin mitattavalle itselleen. Lisäksi tutkimuksen tulokset julkaistaan sellaisessa muodossa, ettei yksittäisiä henkilöitä voi tunnistaa.

4 Menetelmä

4.1 Suora gammaspektrometrinen ihmismittaus

Tärkein menetelmä ihmisen kehoon joutuneiden radioaktiivisten aineiden määrittämiseen on suora gammaspektrometrinen mittaus ihmisen radioaktiivisuuden mittauslaitteistolla. Siinä elimistössä olevat radioaktiiviset aineet määritetään kehon ulkopuolella olevilla säteilynilmaisimilla, nykyään puolijohdekiteillä.

STUKissa on kaksi ihmisten mittaukseen soveltuvaa laitteistoa, jotka koostuvat gammasäteilyn ilmaisimista ja spektrianalyysilaitteistosta. Pääkaupunkiseudulta valitun vertailuryhmän mittaukset tehdään Helsingissä STUKin laboratorioon kiinteästi asennetulla laitteistolla. Muualla kuin pääkaupunkiseudulla tehtävät mittaukset toteutetaan kuorma-autoon asennetulla laitteistolla, niin kutsutussa liikkuvassa laboratoriossa (Kuva 2). Mittauksen tuloksena on gammaspektri, jonka avulla ihmisessä olevat radioaktiiviset aineet voidaan tunnistaa ja määrittää niiden aktiivisuus kehossa. Mittauksissa tutkimushenkilöitä ei altisteta ionisoivalle säteilylle. Liikkuvassa laboratoriossa mittaus kestää tavallisesti noin 20 minuuttia. Mittausten tulokset ovat valmiit mittauksen päätyttyä ja ne annetaan asianomaiselle henkilölle heti mukaan.



Kuva 2. Umpikoriseen ilmastoinnilla ja sähkönsyötön varmistusjärjestelmällä varustettuun kuorma-autoon on sijoitettu laitteisto suoria gammaspektrometrisiä ihmismittauksia varten. Liikkuvan laboratorion erityinen ominaisuus on taustasäteily suoja, joka koostuu lyijytuolista (paino noin tuhat kiloa) ja ilmaisimia ympäröivistä lyijysuojista.



Suoran gammaspektrometrisen mittauksen lisäksi suoritetaan ravintokysely. Lomakkeessa kysytään ravinnon kulutuksen lisäksi nimeä, osoitetta ja henkilötunnusta. Henkilötunnusta tarvitaan tietojen tallentamiseen tulostietokantaan. Mittaustietoihin sisältyy ^{137}Cs -määrän lisäksi mittaussnumero ja -päivämäärä, kellonaika, mittausaika, henkilön nimi ja ryhmäkoodi sekä henkilön pituus ja paino. Kahta jälkimmäistä tietoa tarvitaan tulosten laskennassa, sillä mittauslaitteistojen antamat tulokset riippuvat myös henkilön koosta.

4.2

Sisäisen altistuksen aiheuttaman annoksen arvioiminen

Sisäisestä säteilystä aiheutuva annos aiheutuu kehon radioaktiivisten aineiden lähettämän säteilyn energian absorboitumisesta elimiin ja kudoksiin. Säteilyannoksen kertyminen jatkuu, kunnes radioaktiiviset aineet ovat erittyneet pois kehosta tai hävinneet radioaktiivisen hajoamisen seurauksena. Radioaktiivisen aineen määrä tietyssä elimessä riippuu kehoon tulevasta ja kehosta poistuvasta määrästä, nuklidin kulkeutumisesta elimistössä sekä altistusreitistä (hengitys, ravinto, haavat). Suoran gammaspektrometrisen mittauksen tuloksen lisäksi tarvitaan tieto, milloin tai millä aikavälillä altistus on tapahtunut. Lisäksi tulisi tietää, missä fysikaaliskemiallisessa muodossa radionuklidi on sen saantihetkellä ollut. Aineen olomuoto vaikuttaa siihen osuuteen, joka niellystä tai hengitetystä ainemäärästä siirtyy ruoansulatuselimistöä ja keuhkoista vereen ja muihin kehon nesteisiin.

Määritettäessä kehossa havaitun ^{137}Cs :n aktiivisuuden avulla efektiivisen annoksen vuosikertymää, annoskertoimena on aikaisemmin käytetty $2,5 \mu\text{Sv a}^{-1} (\text{Bq/kg})^{-1}$ (UNSCEAR 1988; yksikkö a tarkoittaa vuotta). Se on päivitetty vastaamaan

myöhempiä Kansainvälisen säteilysuojelukomission suosituksia (ICRP 72, 1996). Tässä raportissa käytetään päivitettyä annoskertoimen arvoa $2,3 \mu\text{Sv a}^{-1} (\text{Bq/kg})^{-1}$. Kertoimen laskuperusteet on selvitetty raportin *Annoskakku 2004 – Suomalaisten keskimääräinen efektiivinen annos* liitteessä 2 (Muikku ym. 2005). Annosmäärittämisessä oletetaan, että ihmisessä olevan ^{137}Cs :n määrä on pysynyt vuoden aikana vakiona.

5

Tulokset

Mittaukseen kutsuttiin noin 80 täysi-ikäistä kutsuryhmään kuuluvaa henkilöä. Lisäksi kutsuryhmää pyrittiin täydentämään osoittamalla avoin kutsu Padasjoen Riistanhoitoyhdistyksen jäsenistölle yhdistyksen sosiaalisen median kanavien kautta. Avoimen kutsun kautta saatiin muutama yhteystieto, joihin myös osoitettiin kutsukirje mittaukseen.

Mittaukset suoritettiin STUKin liikkuvassa laboratoriossa Padasjoella, Päijät-Hämeen Pelastuslaitoksen Padasjoen toimipisteessä elokuussa 2019. Kaikkiaan 37 mitatusta 13 oli naisia ja 24 miehiä. Mitattujen iät olivat 23 ja 86 vuoden välillä. Mitatun ryhmän keskiarvoikä oli 68,6 vuotta.

Padasjoella mitattujen aikuisten kehon keskimääräinen ^{137}Cs -aktiivisuus oli 1200 Bq henkilöä kohti aktiivisuuden vaihdellessa välillä 70–11000 Bq/henkilö. Vastaavasti henkilöiden painoon suhteutettuna keskiarvo oli 16 Bq/kg, mediaani 8 Bq/kg ja maksimi 126 Bq/kg. Suurimman mitatun ^{137}Cs -aktiivisuuden aiheuttama efektiivinen annos referenssihenkilölle olisi 0,29 mSv vuodessa ja koko ryhmän keskiarvon perusteella laskettu annos 0,04 mSv vuodessa.

Edellisen kerran saman ryhmän henkilöitä mitattiin vuonna 2014. Tuolloin 55 mitatun henkilön kehon Cs-137 aktiivisuus oli keskimäärin 30 Bq/kg (mediaani 21 Bq/kg) ja arvioitu keskimääräinen vuotuinen efektiivinen säteilyannos 0,07 mSv (maksimi 0,44 mSv/a). Ryhmän keski-ikä oli tuolloin 67 vuotta.

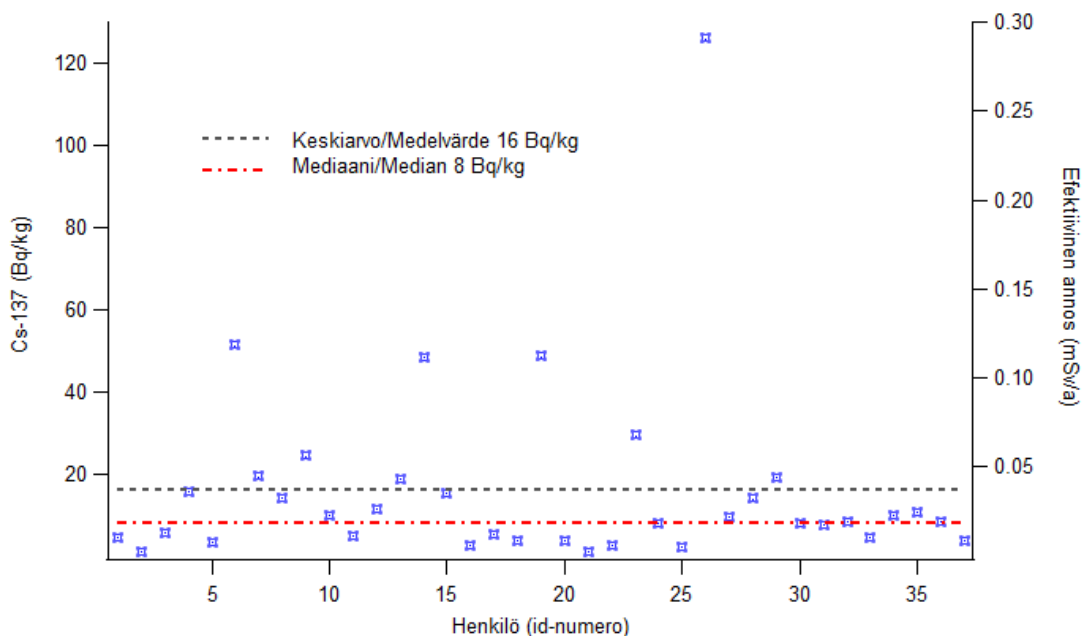
Ravintokulutusseurannan ja ympäristön säteilyvalvonnan kautta saatujen tietojen perusteella on arvioitu, että vuonna 2018 suomalaisille aiheutui ^{137}Cs :sta sisäisen säteilyn kautta keskimäärin noin 0,01 millisievertin vuotuinen efektiivinen annos (Siiskonen 2020).

Taulukossa 1 on esitetty ^{137}Cs -aktiivisuuden sekä arvioitujen säteilyannosten keskiarvo, mediaani ja maksimi koko ryhmälle sekä miehille ja naisille erikseen. Tuloksista nähdään, että naisilla sekä kehon kokonaisaktiivisuus että kehon massa suhteutettu aktiivisuus ovat pienempiä kuin ryhmän miehillä. Jos mitattu aktiivisuus suhteutetaan kehon massa, ero naisten ja miesten välillä on vähemmän selvä, erityisesti jos katsotaan pelkkää mediaania. Tämä seuraa siitä, että keskiarvoa ja vaihteluväliä kasvattavat aineistossa esiintyvät poikkeavan suuret aktiivisuudet, jotka mitattiin juuri mieshenkilöiltä.

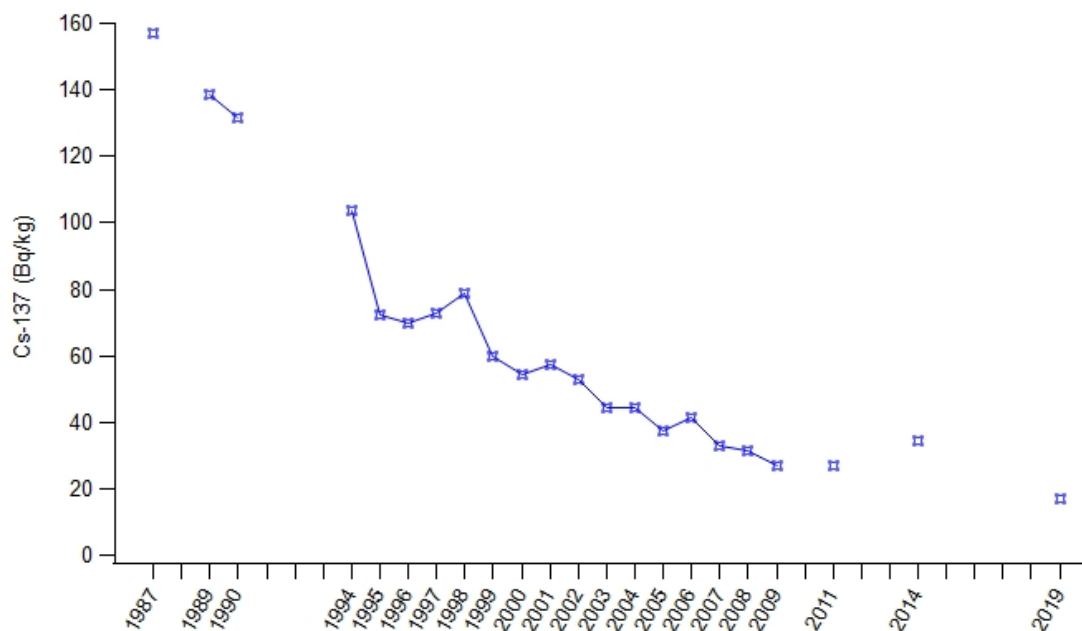
Kuvassa 3 on esitetty tulosten jakautuminen havaintojoukossa. Tulos on esitetty painokiloa kohti. Kuvasta 3 nähdään, että havaintojen mediaani kuvastaa aineistoa paremmin kuin keskiarvo. Tuloksissa on muutama havainto, jotka poikkeavat keskiarvosta selvästi ylöspäin.

Taulukko 1. Padasjoella 2019 mitatut kehon Cs-137 aktiivisuudet sekä arvioidut vuotuiset efektiiviset säteilyannokset.

		Padasjoki KAIKKI	Padasjoki MIEHET	Padasjoki NAISET
Henkilöiden lukumäärä		37	24	13
Aktiivisuus		(Bq/hlö)	(Bq/hlö)	(Bq/hlö)
	• keskiarvo	1200	1500	800
	• mediaani	700	800	400
	• maksimi	11000	11000	2400
Aktiivisuus painokiloa kohti		(Bq/kg)	(Bq/kg)	(Bq/kg)
	• keskiarvo	16	18	12
	• mediaani	8	9	8
	• maksimi	126	126	49
Vuotuinen efektiivinen annos		(mSv/a)	(mSv/a)	(mSv/a)
	• keskiarvo	0,036	0,041	0,027
	• mediaani	0,019	0,021	0,018
	• maksimi	0,29	0,29	0,11



Kuva 3. Padasjoella 2019 mitattujen henkilöiden kokokehon ^{137}Cs aktiivisuus (Bq/kg), sekä mitattua aktiivisuutta vastaava referenssihenkilön ^{137}Cs :sta saama vuotuinen efektiivinen säteilyannos (mSv/a). Aktiivisuushavainnoista laskettu keskiarvo oli 16 Bq/kg ja mediaani 8 Bq/kg. Havainnot on järjestetty aineiston id-numeron mukaan.



Kuva 4. ¹³⁷Cs:n aktiivisuus 70-kiloisen henkilön painoon suhteutettuna Päijät-Hämeen mittausryhmässä vuosina 1987-2019.

6

Johtopäätökset

Päijät-Hämeen seurantaryhmän keskimääräinen ¹³⁷Cs-aktiivisuus, 1200 Bq/hlö, oli puolittunut verrattuna edellisten, vuonna 2014, tehtyjen mittausten keskiarvoon 2400 Bq/hlö. Vuodesta 1987 samassa ryhmässä tehtyjen havaintojen (Kuva 4) perusteella aktiivisuuden väheneminen sopii hyvin pitkäaikaistrendiin, jota parhaiten yhdessä selittävät Tšernobylin ydinvoimalaonnettomuuden laskeuman väheneminen radioaktiivisen hajoamisen kautta sekä niin sanottu ekologinen puoliintuminen, joka sisältää esimerkiksi elinympäristössä, elintarvikkeissa ja henkilöiden ruokailutottumuksissa tapahtuneet muutokset.

Mitattavan ryhmän keski-ikä on noussut vuosien aikana ja ryhmän koko on pienentynyt. Ikääntymisen vaikutuksia esimerkiksi ravintotottumusten tai kehon koostumuksen muutosten kautta tuloksiin ei voi arvioida muista tekijöistä erillisenä. Kuitenkin yli kolmekymmenvuotisen seurannan tuottamaan aikasarjaan kytkettynä tulokset antavat selkeän kuvan siitä, kuinka hitaasti laskeumaperäinen ¹³⁷Cs poistuu luonnon ravintoketjusta.

Lisäksi voidaan todeta, että elintarvikkeiden väestötason kulutusseurannoista johdetut tunnusluvut kuvaavat heikosti tiettyjä erityisryhmiä ja erityisesti joitakin yksilöitä. Suurin tässä selvityksessä referenssihenkilölle arvioitu ¹³⁷Cs:sta aiheutuva efektiivinen annos oli noin kolmekymmenkertainen verrattuna arvioon, joka koskee koko Suomen väestöä. Suurimman mitatun aktiivisuuden selitti henkilön ruokavalio, joka sisälsi lähes päivittäin verrattain paljon pienten järvien petokaloja. Kalojen cesiummäärät voivat vaihdella huomattavasti jopa yksittäisten järvien välillä, mutta

cesiumia on eniten juuri petokaloissa, kuten haussa, kuhassa ja mateessa (STUK 2021).

Väestötason tunnusluvut toimivat kuitenkin hyvin myös erityisryhmien kohdalla, kun niitä käytetään suhteuttamaan annosmääriä eri säteilylähteiden välillä. ^{137}Cs :sta ravinnon kautta saatu säteilyannos on kaikilla seurantaryhmillä erittäin pieni verrattuna sisäilmassa olevan radonin aiheuttamaan annokseen, joka on keskimäärin 4 mSv/a. Suomalaisten säteilyannosta vähennetäänkin tehokkaimmin pienentämällä huoneilman radonpitoisuutta rakentamalla uudet talot radonturvallisesti ja korjaamalla vanhoja taloja radonturvallisiksi.

7

Viitteet

Arvela H, Markkanen M, Lemmelä H. Mobile survey of environmental gamma radiation and fallout levels in Finland after the Chernobyl accident. *Radiation Protection Dosimetry* 1990; 32: 177 – 184.

ICRP Publication 72. (Annals of the ICRP Vol. 26 No.1, 1996). Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 5.

Leppänen A-P, Muikku M, Jaakkola T, Lehto J, Rahola T, Rissanen K, Tillander M. Effective half-lives of ^{134}Cs and ^{137}Cs in reindeer meat and in reindeer herders in Finland after the Chernobyl accident, and the ensuing effective radiation doses to humans. *Health Physics* 2011; 100 (5): 468–481.

Muikku M, Arvela H, Järvinen H, Korpela H, Kostainen E, Mäkeläinen I, Vartiainen E, Vesterbacka K. STUK-A211: Annoskakku 2004 – Suomalaisten keskimääräinen efektiivinen annos. Helsinki 2005.

Rahola T, Suomela M, Illukka E, Puhakainen M, Pusa S. STUK-A64: Radioactivity of people in Finland after the Chernobyl accident in 1986. Helsinki 1987.

Rahola T, Suomela M, Illukka E, Puhakainen M, Pusa S. STUK-A96: Radioactivity of people in Finland in 1988–1990. Helsinki 1993.

Siiskonen T. (toim.) STUK-A:263. Suomalaisten keskimääräinen efektiivinen annos vuonna 2018. Säteilyturvakeskus 2020.

STUK 2021: <https://www.stuk.fi/aiheet/elintarvikkeet-ja-talousvesi/liha-riista-ja-kala>, 8.4.2021.

UNSCEAR 1988. Sources, effects and risks of ionizing radiation, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. UNSCEAR 1988 Report to the General Assembly, with scientific annexes.